



UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA  
DE MADRID

PROCESO DE  
COORDINACIÓN DE LAS  
ENSEÑANZAS PR/CL/001



E.T.S. de Ingenieros de  
Telecomunicacion

# ANX-PR/CL/001-01

## GUÍA DE APRENDIZAJE

### ASIGNATURA

**93000792 - Analisis de Señal para Comunicaciones**

### PLAN DE ESTUDIOS

09AQ - Master Universitario En Ingenieria De Telecomunicacion

### CURSO ACADÉMICO Y SEMESTRE

2019/20 - Segundo semestre

## Índice

---

### Guía de Aprendizaje

|  |    |
|--|----|
| 1. Datos descriptivos.....                       | 1  |
| 2. Profesorado.....                              | 1  |
| 3. Conocimientos previos recomendados.....       | 2  |
| 4. Competencias y resultados de aprendizaje..... | 3  |
| 5. Descripción de la asignatura y temario.....   | 4  |
| 6. Cronograma.....                               | 7  |
| 7. Actividades y criterios de evaluación.....    | 9  |
| 8. Recursos didácticos.....                      | 13 |

## 1. Datos descriptivos

### 1.1. Datos de la asignatura

|  |   |
|--|---|
| <b>Nombre de la asignatura</b>             | 93000792 - Analisis de Señal para Comunicaciones                |
| <b>No de créditos</b>                      | 6 ECTS  |
| <b>Carácter</b>                            | Obligatoria   |
| <b>Curso</b>                               | Primer curso  |
| <b>Semestre</b>                            | Segundo semestre  |
| <b>Período de impartición</b>              | Febrero-Junio   |
| <b>Idioma de impartición</b>               | Inglés/Castellano   |
| <b>Titulación</b>                          | 09AQ - Master Universitario En Ingenieria De Telecomunicacion   |
| <b>Centro responsable de la titulación</b> | 09 - Escuela Tecnica Superior de Ingenieros de Telecomunicacion |
| <b>Curso académico</b>                     | 2019-20   |

## 2. Profesorado

### 2.1. Profesorado implicado en la docencia

| <b>Nombre</b>                  | <b>Despacho</b> | <b>Correo electrónico</b>     | <b>Horario de tutorías *</b>   |
|--------------------------------|-----------------|-------------------------------|--|
| Javier Ignacio Portillo Garcia | C-318           | javier.portillo.garcia@upm.es | Sin horario.<br>Sin horario.<br>Concertar cita por correo electrónico. |
| Santiago Zazo Bello            | C-326           | santiago.zazo@upm.es          | Sin horario.<br>Sin horario.<br>Concertar cita por correo electrónico. |

|   |       |                                     |  |
|---|-------|-------------------------------------|--|
| Jose Ignacio Ronda Prieto                     | C-323 | joseignacio.ronda@upm.es            | Sin horario.<br>Sin horario.<br>Concertar cita por correo electrónico. |
| Miguel Angel Garcia Izquierdo (Coordinador/a) | B-408 | miguelangel.garcia.izquierdo@upm.es | Sin horario.<br>Sin horario.<br>Concertar cita por correo electrónico. |
| Mariano Garcia Otero                          | C-327 | mariano.garciao@upm.es              | Sin horario.<br>Sin horario.<br>Concertar cita por correo electrónico. |

\* Las horas de tutoría son orientativas y pueden sufrir modificaciones. Se deberá confirmar los horarios de tutorías con el profesorado.

### 3. Conocimientos previos recomendados

---

#### 3.1. Asignaturas previas que se recomienda haber cursado

El plan de estudios Master Universitario en Ingeniería de Telecomunicacion no tiene definidas asignaturas previas recomendadas para esta asignatura.

#### 3.2. Otros conocimientos previos recomendados para cursar la asignatura

- Conocimientos a nivel de grado de álgebra lineal, cálculo infinitesimal, sistemas lineales y señales aleatorias.

## 4. Competencias y resultados de aprendizaje

---

### 4.1. Competencias

CE1 - Capacidad para aplicar métodos de la teoría de la información, la modulación adaptativa y codificación de canal, así como técnicas avanzadas de procesado digital de señal a los sistemas de comunicaciones y audiovisuales.

CG1 - Poseer y comprender conocimientos que aporten una base u oportunidad de ser originales en el desarrollo y/o aplicación de ideas, a menudo en un contexto de investigación.

CG2 - Que los estudiantes sepan aplicar los conocimientos adquiridos y su capacidad de resolución de problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios (o multidisciplinares) relacionados con su área de estudio.

CG5 - Que los estudiantes posean las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo.

CT3 - Capacidad para adoptar soluciones creativas que satisfagan adecuadamente las diferentes necesidades planteadas.

CT4 - Capacidad para trabajar de forma efectiva como individuo, organizando y planificando su propio trabajo, de forma independiente o como miembro de un equipo.

CT5 - Capacidad para gestionar la información, identificando las fuentes necesarias, los principales tipos de documentos técnicos y científicos, de una manera adecuada y eficiente.

## 4.2. Resultados del aprendizaje

RA135 - Conocer y dominar herramientas para la resolución de problemas fundamentales de optimización.

RA137 - Conocer y dominar herramientas para la resolución de problemas de estimación y detección.

RA134 - Manejar con soltura las bases de álgebra lineal y cálculo infinitesimal necesarias para formular problemas de optimización.

RA136 - Manejar con soltura las bases del modelado matemático de señales aleatorias.

## 5. Descripción de la asignatura y temario

---

### 5.1. Descripción de la asignatura

La asignatura proporciona herramientas avanzadas para el tratamiento de señales, con aplicaciones en sistemas de comunicaciones digitales. Su contenido se estructura en dos partes principales:

- Optimización: se exponen técnicas de optimización convexa, algoritmos de optimización con y sin restricciones y problemas de mínimos cuadrados.
- Tratamiento estadístico de señales: se realiza un repaso de los procesos y secuencias aleatorias para, a continuación, exponer elementos básicos de teoría de la estimación y tests de hipótesis estadísticas, con aplicaciones en estimación espectral, filtrado adaptativo y detección de señales en ruido.

This course provides advanced tools for signal processing, with applications in digital communications systems. Its content is structured in two main parts:

- Optimization: In this part, convex optimization techniques, optimization algorithms with and without restrictions and least squares problems.
- Statistical Signal Processing: A review of the random processes and sequences is carried out to then expose basic elements of estimation theory and statistical hypothesis tests, with applications in spectral estimation, adaptive filtering and detection of signals in noise.

## 5.2. Temario de la asignatura

### 1. Optimización. Optimization

#### 1.1. Introducción. Introduction

1.1.1. Breve revisión de álgebra lineal. Short review of linear algebra

1.1.2. Breve revisión de análisis multivariable. Short review of multivariate calculus

1.1.3. El problema general de optimización. The general optimization problem

#### 1.2. Optimización convexa. Convex optimization

1.2.1. Conjuntos y funciones convexas. Convex sets and functions

1.2.2. Ejemplos de problemas convexas: programación lineal, programación cuadrática. Some special types of convex optimization problems: Linear programming, quadratic programming

1.2.3. Dualidad. El problema dual de Lagrange. Duality. The Lagrange dual problem

#### 1.3. Algoritmos. Algorithms

1.3.1. Optimización sin restricciones. Unconstrained optimization

1.3.2. Optimización con restricciones de igualdad. Optimization with equality constraints

1.3.3. Optimización con restricciones en desigualdad. Optimization with inequality constraints

#### 1.4. Problemas de mínimos cuadrados. Least-squares problems

1.4.1. Problema general. General problem

1.4.2. Aproximación en la norma euclídea. Euclidean norm approximation

1.4.3. Aproximación en normas no euclídeas. Non-Euclidean norms approximation

### 2. Tratamiento Estadístico de Señales. Statistical signal processing

#### 2.1. Procesos y secuencias aleatorias. Random processes and sequences

2.1.1. Introducción. Introduction

2.1.2. Estadísticos. Statistical properties

2.1.3. Tipos especiales de procesos. Special types of processes

2.1.4. Estacionariedad. Stationarity

2.1.5. Espectros de potencia. Power spectra

#### 2.1.6. Sistemas lineales. Linear systems

### 2.2. Estimación de parámetros. Parameter estimation

#### 2.2.1. Introducción. Introduction

#### 2.2.2. Información de Fisher y cota de Cramér-Rao. Fisher information and Cramér-Rao bound

#### 2.2.3. Estimación de máxima verosimilitud. Maximum likelihood estimation

#### 2.2.4. Estimador lineal de parámetros. Linear parameter estimator

#### 2.2.5. Estimación de las propiedades estadísticas de un proceso estocástico. Estimation of the statistical properties of a stochastic process

### 2.3. Estimación bayesiana. Bayesian estimation

#### 2.3.1. Introducción. Introduction

#### 2.3.2. Estimación de una variable aleatoria. Random variable estimation

#### 2.3.3. Estimación lineal en media cuadrática de una secuencia. Filtro de Wiener. LMMSE estimation of a sequence. Wiener Filter

#### 2.3.4. Aplicaciones. Applications

### 2.4. Test de hipótesis. Hypothesis testing

#### 2.4.1. Introducción. Introduction

#### 2.4.2. Enfoque clásico: test de razón de verosimilitudes. Classical approach: Likelihood ratio test

#### 2.4.3. Decisión bayesiana. Bayesian decision

#### 2.4.4. Aplicaciones. Applications



## 6. Cronograma

### 6.1. Cronograma de la asignatura \*

| Sem | Actividad presencial en aula   | Actividad presencial en laboratorio | Otra actividad presencial | Actividades de evaluación |
|-----|--|-------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1   | <b>Tema 1.1</b><br>Duración: 04:00<br>LM: Actividad del tipo Lección Magistral   |                                     |                           |                           |
| 2   | <b>Tema 1.2</b><br>Duración: 04:00<br>LM: Actividad del tipo Lección Magistral   |                                     |                           |                           |
| 3   | <b>Tema 1.2</b><br>Duración: 02:00<br>LM: Actividad del tipo Lección Magistral<br><br><b>Tema 1.3</b><br>Duración: 02:00<br>LM: Actividad del tipo Lección Magistral |                                     |                           |                           |
| 4   | <b>Tema 1.3</b><br>Duración: 04:00<br>LM: Actividad del tipo Lección Magistral   |                                     |                           |                           |
| 5   | <b>Tema 1.3</b><br>Duración: 04:00<br>LM: Actividad del tipo Lección Magistral   |                                     |                           |                           |
| 6   | <b>Tema 1.4</b><br>Duración: 04:00<br>LM: Actividad del tipo Lección Magistral   |                                     |                           |                           |
| 7   | <b>Tema 1.4</b><br>Duración: 03:00<br>LM: Actividad del tipo Lección Magistral<br><br><b>Tema 2.1</b><br>Duración: 01:00<br>LM: Actividad del tipo Lección Magistral |                                     |                           |                           |
| 8   | <b>Tema 2.1</b><br>Duración: 02:00<br>LM: Actividad del tipo Lección Magistral<br><br><b>Tema 2.1</b><br>Duración: 02:00<br>LM: Actividad del tipo Lección Magistral |                                     |                           |                           |
| 9   | <b>Tema 2.2</b><br>Duración: 04:00<br>LM: Actividad del tipo Lección Magistral   |                                     |                           |                           |
| 10  | <b>Tema 2.2</b><br>Duración: 01:00<br>LM: Actividad del tipo Lección Magistral<br><br><b>Tema 2.3</b><br>Duración: 03:00<br>LM: Actividad del tipo Lección Magistral |                                     |                           |                           |

|    |  |  |  |  |
|----|--|--|--|--|
| 11 | <b>Tema 2.3</b><br>Duración: 02:00<br>LM: Actividad del tipo Lección Magistral   |  |  | <b>Primer parcial</b><br>EX: Técnica del tipo Examen Escrito<br>Evaluación continua<br>Duración: 02:00   |
| 12 | <b>Tema 2.3</b><br>Duración: 03:00<br>LM: Actividad del tipo Lección Magistral<br><br><b>Tema 2.4</b><br>Duración: 01:00<br>LM: Actividad del tipo Lección Magistral |  |  |  |
| 13 | <b>Tema 2.4</b><br>Duración: 04:00<br>LM: Actividad del tipo Lección Magistral   |  |  |  |
| 14 | <b>Tema 2.4</b><br>Duración: 04:00<br>LM: Actividad del tipo Lección Magistral   |  |  |  |
| 15 |  |  |  |  |
| 16 |  |  |  |  |
| 17 |  |  |  | <b>Segundo parcial</b><br>EX: Técnica del tipo Examen Escrito<br>Evaluación continua<br>Duración: 02:00<br><br><b>Examen final</b><br>EX: Técnica del tipo Examen Escrito<br>Evaluación sólo prueba final<br>Duración: 03:00 |

Las horas de actividades formativas no presenciales son aquellas que el estudiante debe dedicar al estudio o al trabajo personal.

Para el cálculo de los valores totales, se estima que por cada crédito ECTS el alumno dedicará dependiendo del plan de estudios, entre 26 y 27 horas de trabajo presencial y no presencial.

\* El cronograma sigue una planificación teórica de la asignatura y puede sufrir modificaciones durante el curso.

## 7. Actividades y criterios de evaluación

### 7.1. Actividades de evaluación de la asignatura

#### 7.1.1. Evaluación continua

| Sem. | Descripción     | Modalidad                           | Tipo       | Duración | Peso en la nota | Nota mínima | Competencias evaluadas                        |
|------|-----------------|-------------------------------------|------------|----------|-----------------|-------------|---|
| 11   | Primer parcial  | EX: Técnica del tipo Examen Escrito | Presencial | 02:00    | 50%             | 3.5 / 10    | CG2<br>CT4<br>CT3<br>CE1<br>CG1<br>CG5<br>CT5 |
| 17   | Segundo parcial | EX: Técnica del tipo Examen Escrito | Presencial | 02:00    | 50%             | 3.5 / 10    | CG2<br>CT4<br>CT3<br>CG1<br>CG5<br>CT5<br>CE1 |

#### 7.1.2. Evaluación sólo prueba final

| Sem | Descripción  | Modalidad                           | Tipo       | Duración | Peso en la nota | Nota mínima | Competencias evaluadas                        |
|-----|--------------|-------------------------------------|------------|----------|-----------------|-------------|---|
| 17  | Examen final | EX: Técnica del tipo Examen Escrito | Presencial | 03:00    | 100%            | 5 / 10      | CE1<br>CG2<br>CT4<br>CT3<br>CG1<br>CG5<br>CT5 |

#### 7.1.3. Evaluación convocatoria extraordinaria

| Descripción           | Modalidad                           | Tipo       | Duración | Peso en la nota | Nota mínima | Competencias evaluadas                        |
|-----------------------|-------------------------------------|------------|----------|-----------------|-------------|---|
| Examen extraordinario | EX: Técnica del tipo Examen Escrito | Presencial | 03:00    | 100%            | 5 / 10      | CE1<br>CG2<br>CT4<br>CT3<br>CG1<br>CG5<br>CT5 |

## 7.2. Criterios de evaluación

Los estudiantes serán evaluados, por defecto, mediante evaluación continua. El estudiante que desee renunciar a la evaluación continua y optar a la evaluación por prueba final (formada por una o más actividades de evaluación global de la asignatura), deberá completar en el Moodle de la asignatura la tarea titulada Renuncia a la evaluación continua antes de que transcurran 4 semanas desde la fecha de inicio del curso (la fecha concreta se anunciará en el Moodle).

La evaluación comprobará si los estudiantes han adquirido las competencias de la asignatura. Por tanto, la evaluación mediante prueba final usará los mismos tipos de técnicas evaluativas que se usan en la evaluación continua (EX, ET, TG, etc.), y se realizarán en las fechas y horas de evaluación final aprobadas por la Junta de Escuela para el presente curso y semestre, salvo aquellas actividades de evaluación de resultados del aprendizaje de difícil calificación en una prueba final. En este caso, se podrán realizar dichas actividades de evaluación a lo largo del curso.

La evaluación en la convocatoria extraordinaria se realizará exclusivamente a través del sistema de prueba final.

### Convocatoria ordinaria. Modalidad de evaluación continua

La evaluación continua consta de 2 exámenes parciales. La calificación de la asignatura se obtendrá del siguiente modo:

50% de la nota del primer parcial correspondiente con la parte de optimización

50% de la nota del segundo parcial correspondiente con la parte de tratamiento estadístico de señales

### Requisitos para aprobar la asignatura:

Obtener al menos 3,5 puntos (sobre 10) en cada examen parcial.

Obtener una nota final mayor o igual que 5 puntos (sobre 10).

Para liberar el primer parcial se requiere haber superado la nota mínima.

La segunda prueba parcial se realizará en la fecha oficial del examen final de la asignatura. Ese mismo día habrá también examen de recuperación del primer parcial para los alumnos que no lo hayan liberado.

### **Convocatoria ordinaria. Modalidad de solo prueba final:**

La calificación de la asignatura para los alumnos que renuncien a la evaluación continua se obtendrá del siguiente modo:

100% de la nota del examen final.

El examen final tendrá 2 partes: Una de optimización y otra de tratamiento estadístico de señales.

#### Requisitos para aprobar la asignatura:

Obtener al menos 3,5 puntos (sobre 10) en cada una de las 2 partes del examen.

Obtener una nota final mayor o igual que 5 puntos (sobre 10).

### **Convocatoria extraordinaria:**

La convocatoria extraordinaria usará el procedimiento de evaluación sólo por prueba final de la convocatoria ordinaria.

La calificación de la asignatura se obtendrá del siguiente modo:

100% de la nota del examen extraordinario.

El examen final tendrá 2 partes: Una de optimización y otra de tratamiento estadístico de señales.

#### Requisitos para aprobar la asignatura:

Obtener al menos 3,5 puntos (sobre 10) en cada una de las 2 partes del examen.

Obtener una nota final mayor o igual que 5 puntos (sobre 10).

Students will be qualified through continuous evaluation by default. According to the Normativa de Evaluación del Aprendizaje de la Universidad Politécnica de Madrid, students willing to renounce to continuous evaluation must complete the Moodle task entitled Renounce to continuous evaluation before 4 weeks from the beginning of the course (deadline will be announced in Moodle).

Evaluation will assess if students have acquired all the competences of the subject. Thus, evaluation through final assessment will be carried out considering all the evaluation techniques used in continuous evaluation (EX, ET, TG, etc.), and will be celebrated in the exam period approved by Junta de Escuela for the current academic semester and year. Evaluation activities that assess learning outcomes that cannot be evaluated through a single exam can be carried out along the semester.

Extraordinary examination will be carried out exclusively by the final assessment method.

### **Continuous evaluation**

The continuous evaluation consists of 2 partial examinations. The final score of the subject will be obtained in the following way:

50% from the score of the first partial examination corresponding with the optimization part

50% from the grade of the second partial examination corresponding with the statistical signal processing part.

#### Requirements to pass the subject:

Obtain at least 3.5 points (out of 10) in each partial examination.

Obtain a final grade greater than or equal to 5 points (out of 10).

To exonerate the first partial is required to have exceeded the minimum grade.

The second partial test will be done on the subject official date for the final examination. That same day there will also be a first partial recovery examination for students who have not released it.

### **Final assessment**

The qualification of the subject for the students that renounce to continuous evaluation will be obtained in the following way:

100% of the final examination score.

The final exam will have 2 parts: One for optimization and another for statistical signal processing.

Requirements to pass the subject:

Obtain at least 3.5 points (out of 10) in each of the 2 parts of the exam.

Obtain a final grade greater than or equal to 5 points (out of 10).

**Extraordinary examination**

The extraordinary examination will use the same evaluation procedure as the final assesment.

The score of the subject will be obtained in the following way:

100% of the final examination score.

The final exam will have 2 parts: One for optimization and another for statistical signal processing.

Requirements to pass the subject:

Obtain at least 3.5 points (out of 10) in each of the 2 parts of the exam.

Obtain a final grade greater than or equal to 5 points (out of 10).

## 8. Recursos didácticos

---

### 8.1. Recursos didácticos de la asignatura

| Nombre   | Tipo         | Observaciones                    |
|--|--------------|----------------------------------|
| Apuntes y ejercicios de la asignatura  | Bibliografía | Disponibles en plataforma moodle |
| Linear and Nonlinear Programming, 2nd ed. D. G. Luenberger. Addison-Wesley, 1984 | Bibliografía |                                  |

|   |              |  |
|---|--------------|--|
| Engineering Optimization, Theory and Practice, 4th ed. S. S. Rao. John Wiley & Sons, 2009                     | Bibliografía |  |
| Mathematical Methods and Algorithms for Signal Processing. T. K. Moon. Prentice-Hall, 2000                    | Bibliografía |  |
| Probability, Random Variables, and Stochastic Processes, 4th ed. A. Papoulis, S. U. Pillai. McGraw-Hill, 2002 | Bibliografía |  |
| Fundamentals of Statistical Signal Processing, Volume 1: Estimation Theory. S. M. Kay. Prentice Hall, 1993    | Bibliografía |  |
| Fundamentals of Statistical Signal Processing, Volume 2: Detection Theory. S. M. Kay. Prentice Hall 1998      | Bibliografía |  |
| Adaptive Filter Theory, 5th ed. S. O. Haykin. Pearson, 2013   | Bibliografía |  |